

USŁONECZNIE W ARKTYCE EUROPEJSKIEJ I GRENLANDII NA PODSTAWIE DANYCH Z WYBRANYCH STACJI STREFY POLARNEJ

SUNSHINE DURATION IN THE EUROPEAN ARCTIC AND GREENLAND BASED ON THE DATA FROM SELECTED STATIONS IN THE POLAR REGIONS

Dorota Matuszko¹, Daniel Celiński-Mysław¹, Jakub Soroka²

¹ – Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Klimatologii
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
d.matuszko@uj.edu.pl, daniel.celinski.myslaw@gmail.com

² – Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział we Wrocławiu
Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna w Gorzowie Wielkopolskim
ul. Sybiraków 10, 66-400 Gorzów Wielkopolski
jakub.soroka@imgw.pl

Zarys treści. W pracy przedstawiono zmienność usłonecznienia w rejonach polarnych na podstawie danych z wybranych stacji Arktyki Europejskiej i Grenlandii. Do ogólnej charakterystyki wykorzystano średnie sumy miesięczne ze standardowego 30-lecia (1961-1990) z 15 stacji położonych na północ od koła polarnego, natomiast szczegółową analizę wykonano na podstawie danych z Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie (lata 1979-2014) oraz ze stacji: Bjornoya (lata 1961-2004), Tromsø (lata 1961-2014), Bodo VI (lata 1961-2005) i Barentsburg (lata 1961-2014).

W strefie polarnej duży wpływ na wartości usłonecznienia oprócz czynników astronomicznych i cyrkulacyjnych mają warunki lokalne. Największe sumy roczne usłonecznienia występują na Grenlandii (Danmarkshavn – 1967 godzin) znajdującej się w strefie oddziaływania stałego wyżu, natomiast najmniejsze na stacji Bjornoya (595 godzin), co związane jest z położeniem wyspy na szlaku niżów i związanych z nimi frontów atmosferycznych powodujących duże zachmurzenie. Przebieg wieloletni usłonecznienia w rejonach na północ od koła polarnego w niewielkim stopniu nawiązuje do tendencji obserwowanych na stacjach w pozostałej części Europy – zmniejszenia liczby godzin ze słońcem w latach pięćdziesiątych do osiemdziesiątych XX wieku, a następnie wzrostu w ostatnich dwóch dekadach XX wieku.

Słowa kluczowe: usłonecznienie, Arktyka Europejska, Grenlandia, strefa polarna, Hornsund.

1. Wprowadzenie

Dotychczasowe publikacje omawiające zmiany klimatu obszarów polarnych dotyczą przede wszystkim tematyki ocieplenia atmosfery. Usłonecznienie, mimo że jest ważnym wskaźnikiem czynników radiacyjnych nie jest zbyt dobrze rozpoznane na tym terenie. Jediną pracę na temat tendencji zmian w dopływie promieniowania słonecznego w Arktyce opublikował Stanhill (1995). Oprócz wymienionej pozycji istnieją opracowania ogólne dotyczące klimatu strefy polarnej zawierające skąpe informacje o usłonecznieniu (m.in. Pettersen i in. 1956, Gavrilova 1963, Spinnangr 1968, Baranowski 1977,

Vinje 1974-1979, Pereyma 1983, Atlas Arktiki 1985, Głowicki 1985, Martyn 1985, Brazdil (red.) 1988, Niedźwiedź 1993, Głowacki i Niedźwiedź 1997, Styszyńska 1997, Marsz i Styszyńska (red.) 2007, 2013, Przybylak i Szczeblewska 2002, Przybylak 2003, 2007). Ciekawą pracą, ale obejmującą dane tylko z jednej stacji i krótkiego okresu badań jest artykuł Budzika (2005) na temat usłonecznienia w Ny-Alesund.

Dla pozostałej części Europy powstało szereg publikacji dotyczących wieloletnich zmian usłonecznienia na podstawie danych ze stacji w poszczególnych krajach: Czechy (Bednar 1990), Słowacja (Horecka 1990), Niemcy (Weber 1990), Austria (Dobesch 1992), Hiszpania (Sanchez-Lorenzo i in. 2007), Grecja (Kitsara i in. 2012), Polska (Matuszko 2014), jak i prace dotyczące całej Europy (Norris i Wild 2007) oraz Europy środkowej i południowo-wschodniej (Brazdil i in. 1994) oraz zachodniej (Sanchez-Lorenzo i in. 2008). Wymienieni autorzy zwracają uwagę, na podobne tendencje wieloletnich zmian usłonecznienia – zmniejszenie liczby godzin ze słońcem w latach pięćdziesiątych do osiemdziesiątych XX wieku, a następnie wzrost w ostatnich dwóch dekadach XX wieku. Podobne tendencje na tak dużym obszarze świadczą o makroskalowych uwarunkowaniach dopływu promieniowania słonecznego, modyfikowanych jedynie czynnikami lokalnymi. Według Sanchez-Lorenzo i in. (2008) okres mniejszego usłonecznienia w latach 1960-1980 związany jest z dużym zachmurzeniem towarzyszącym układom niskiego ciśnienia, natomiast spadek zachmurzenia spowodowany jest przewagą układów wyżowych w ostatnich dwóch dekadach XX wieku. Badania Matuszko i Węglarczyka (2014) na podstawie danych z Krakowa potwierdzają powyższe wyniki i dodatkowo zwracają uwagę, że wzrost usłonecznienia związany jest bardziej ze zmianą struktury zachmurzenia niż zmianami w stopniu zachmurzenia. W Krakowie i innych regionach świata obserwuje się, szczególnie w ostatnim czterdziestoleciu, wzrost częstości występowania chmur o budowie pionowej, spadek częstości pojawiania się chmur warstwowych oraz częstsze pojawianie się chmur piętra wysokiego (Sun i Groisman 2000, Matuszko 2003, Wibig 2008).

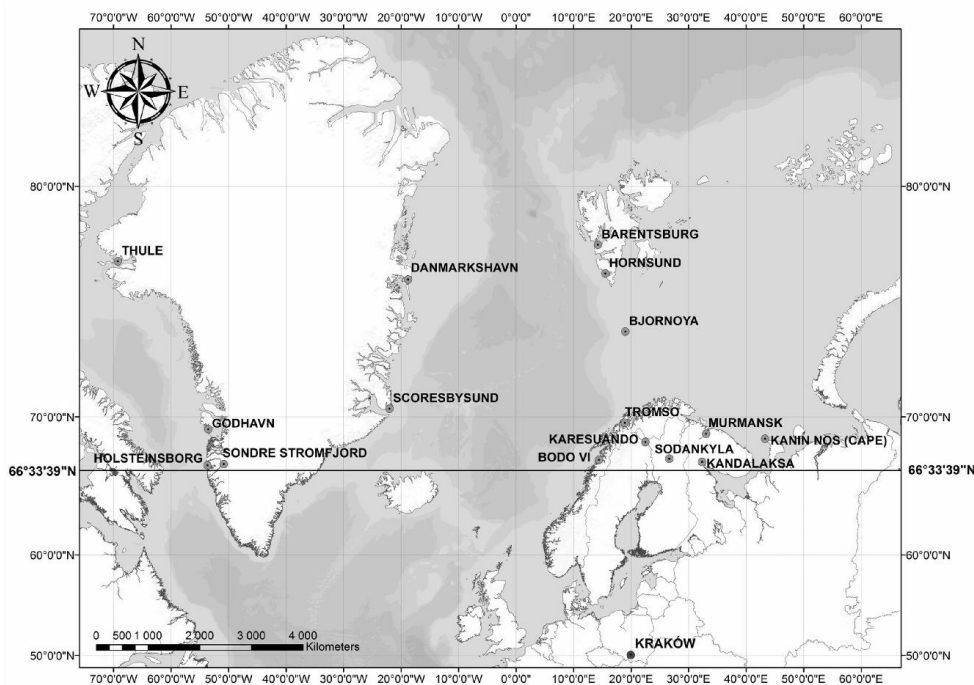
W literaturze można znaleźć też hipotezy (Liepert 2002, Norris i Wild 2007, Lewik i in. 2009, Matuszko 2014), że obok zmian cyrkulacyjnych duży wpływ na tendencje usłonecznienia w Europie może mieć stan zanieczyszczenia atmosfery na terenach zurbanizowanych. W połowie lat 50-tych, w wielu uprzemysłowionych miastach zaobserwowano wzrost zanieczyszczeń spowodowany intensywnym rozwojem przemysłu. Emitowane do atmosfery duże ilości aerozoli i sadzy zwiększały pochłanianie i odbijanie promieniowania słonecznego i zarazem powodowały powstawanie chmur, przyczyniając się do tzw. „globalnego zaciemnienia” („global dimming”). W latach 80-tych XX wieku, na skutek załamania się gospodarki w krajach byłego bloku komunistycznego, zmniejszyła się produkcja przemysłowa i obniżyła emisja zanieczyszczeń. Podjęto też skuteczne działania na rzecz poprawy czystości powietrza. Prawdopodobnie z tego powodu szczególnie w Europie Środkowej i Wschodniej wzrosła przezroczystość atmosfery i nastąpił najbardziej widoczny efekt „rozjaśnienia” („brightening”), czyli zwiększenia dopływu promieniowania do powierzchni Ziemi, obserwowany także w Krakowie.

Rodzą się zatem pytania: czy tendencje wieloletnich zmian usłonecznienia w Europie są widoczne także w Arktyce? Czy na stacjach strefy polarnej, podlegających mniejszym wpływom czynników antropogenicznych widoczny jest także spadek usłonecznienia w latach 1961-1980, a potem jego wzrost? Niniejsze opracowanie stanowi próbę odpowiedzi na te pytania. Jego celem jest charakterystyka usłonecznienia w rejonach polarnych na podstawie dostępnych danych dla wybranych stacji Arktyki europejskiej i Grenlandii.

2. Materiały źródłowe i charakterystyka obszaru badań

Istnieje wiele definicji strefy polarnej półkuli północnej. Podejście geograficzne zakłada, że strefa polarna obejmuje obszar znajdujący się poza kołem polarnym (ryc. 1). Podstawowym kryterium w tej definicji jest występowanie zjawiska dnia i nocy polarnej.

Analiza internetowych baz danych meteorologicznych wykazała trudności w uzyskaniu wieloletnich serii usłonecznienia w strefie polarnej. Tylko na nielicznych stacjach mierzone jest usłonecznienie, a istniejące serie heliograficzne zawierają sporo luk, szczególnie w ostatnich latach. Brakuje też informacji metadata, np. odnośnie przyrządu jakim wykonuje się pomiar oraz o jego usytuowaniu (zasłonięcie horyzontu). Ostatecznie w niniejszym opracowaniu wykorzystano dane z Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie (lata 1979-2014), ze stacji Bjornoya (1961-2004), Tromso (1961-2014) i Bodo VI (1961-2005) z bazy danych: ECAD (<http://www.ecad.eu/dailydata/customquery.php>) i Norweskiego Instytutu Meteorologicznego (http://eklima.met.no/Help/Stations/toDay/all/no_Stations.html) oraz ze stacji w Barentsburgu (lata 1961-2014) z bazy Rosyjskiego Instytutu Hydrometeorologicznego RIHMI-WDC (<http://meteo.ru/english/climate/suns.php>). Do ogólnej charakterystyki usłonecznienia w okołatlantyckiej części Arktyki wykorzystano średnie sumy miesięczne ze standardowego 30-lecia (1961-1990) z 15 stacji (ryc. 1) położonych na północ od koła polarnego (WMO Global Climate Normals – CLINO 1998).



Ryc. 1. Położenie stacji uwzględnionych w opracowaniu,
źródło: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline/maps/maps-and-map-layers> (uzupełnione)

Fig. 1. Location of stations included in the study,
source: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisonline/maps/maps-and-map-layers> (supplemented).

Najbardziej kompletne i wiarygodne dane pochodzą z Polskiej Stacji Polarnej, niestety regularne pomiary heliograficzne wykonywane są tam dopiero od 1979 roku. Stacja w Hornsundzie jest unikatowym miejscem badań atmosfery i klimatu ponieważ reprezentuje obszar bardzo ważny pod względem synoptycznym, w którym kształtujące się warunki cyrkulacyjne wpływają na pogodę w znacznej części Europy. Ponadto ze względu na brak lokalnego antropogenicznego wpływu na stan atmosfery analiza danych z tej stacji może pomóc w określeniu naturalnych przyczyn zmienności usłonecznienia.

Stacja w Hornsundzie od północy osłonięta jest pasmem górskim Arikammen i Fugleberget, którego kulminacje przekraczają 500 m n.p.m. Ten grzbiet górski sprawia, że w czasie dnia polarnego stacja przez około 3 godziny "nocne" znajduje się w cieniu. Pasma to zacienia stację w momencie kiedy Słońce znajduje się od niej na północ. Wysokości i zorientowanie co do kierunków świata poszczególnych form terenu sprzyja uprzywilejowaniu dopływu energii promienistej do powierzchni ziemi w otoczeniu stacji w godzinach przedpołudniowych i południowych. Promieniowanie słoneczne dochodzi w Hornsundzie przez 261 dni w roku (od 12.02. do 30.10.). Pomiar usłonecznienia odbywa się obecnie za pomocą 2 heliografów Campbella-Stokesa, gdy wysokość Słońca $h \geq 3^\circ$, czyli od 24.02. do 19.10. (Marsz i Styszyńska (red.) 2007), w praktyce okres ten jest nieco dłuższy, bo trwa od 17.02 do 27.10.

Spśród stacji, z których dane analizowane są w niniejszym opracowaniu, najbardziej na północ położony jest Barentsburg (ryc. 1). Stacja zlokalizowana jest w dolnej części stoku. Od E-SE w odległości 1-2 km znajduje się pasmo Gronfjord o wysokości około 500 m, które ogranicza dostęp promieniowania słonecznego przez kilka godzin dziennie. Od N-NE w odległości 2 km znajdują się wzniesienia do wysokości 200 m n.p.m. Rosyjski Instytut Hydrometeorologiczny nie udzielił informacji jakim przyrządem odbywa się pomiar usłonecznienia.

Bjornoya, ze względu na to, że jest małą wyspą posiada klimat wybitnie oceaniczny. Leży na szlaku przemieszczających się niżów, co powoduje bardzo duże zachmurzenie i mgły. Stacja usytuowana jest na płaskowyżu. Najbliższe wzgórza o wysokości 400-536 m n.p.m. znajdują się w odległości 10-12 km w kierunku S-SE i mogą wpływać na usłonecznienie tylko w krótkim okresie na początku i końcu dnia polarnego. Stacja ta cechuje się bardzo dobrą lokalizacją do pomiarów usłonecznienia. Pomiar wykonywany jest heliografem Campbella-Stokesa.

Stacja Tromsø (lotnisko Tromsø-Langnes) zlokalizowana jest na zachodnim brzegu wyspy o tej samej nazwie, pośrodku fiordu, około 5 km od centrum miasta. Mimo swojego położenia, 350 km za kołem polarnym, ma klimat niezbyt surowy, ze względu na silny wpływ ciepłego Prądu Norweskiego. W kierunku NW w odległości 5-7 km od stacji znajdują się wzgórza o wysokości 500-790 m n.p.m., w odległości 12 km od stacji w kierunku SE wznosi się góra o wysokości 1238 m n.p.m. Przy niskim położeniu Słońca stacja okresowo znajduje się w cieniu, co może zaburzać wyniki pomiarów usłonecznienia. W latach 1961-2004 pomiar był wykonywany heliografem Campbella-Stokesa, a obecnie usłonecznienie jest rejestrowane czujnikiem automatycznym.

Stacja Bodo VI (lotnisko) znajduje się w pobliżu wzgórz o wysokości około 300-600 m n.p.m. w kierunku NE w odległości 5-7 km oraz gór o wysokości 600-1100 m w kierunku SE w odległości około 15 km. Krótkookresowe zacienienie stacji jest możliwe w czasie dnia polarnego oraz w okresie zimowym. Pomiar usłonecznienia wykonywany jest heliografem Campbella-Stokesa.

Stacja Kraków uwzględniona w opracowaniu do porównania wieloletnich tendencji usłonecznienia położona jest w kotlinie podgórskiej na terenie Ogrodu Botanicznego, znajdującego się w centrum miasta, na wysokości 206 m n.p.m. Heliograf Campbella-Stokesa umieszczony jest niezmiennie od

1883 roku na dachu budynku Collegium Śniadeckiego (18 m n.p.g.). Pomiar zasłonięcia horyzontu wykonany 5 maja 2006 roku wykazał, że mimo gęstej zabudowy centrum Krakowa, o każdej porze dnia i roku żadne obiekty nie znajdują się na drodze promieni słonecznych i nie zaciniają heliografu (Matuszko 2014).

3. Przebieg roczny usłonecznienia

Przebieg roczny usłonecznienia zależy głównie od szerokości geograficznej, która limituje długość dnia oraz od warunków meteorologicznych: zachmurzenia i przezroczystości atmosfery, a także od warunków lokalnych, które mają znaczenie bezpośrednie (zasłonięcia horyzontu) oraz pośrednie (rozwój zachmurzenia). Warunki nefologiczne w strefie polarnej uwarunkowane są głównie cyrkulacją, ale podlegają dużemu zróżnicowaniu lokalnemu, które jest związane z wieloma czynnikami geograficznymi (orografia, charakter podłoża, ukształtowanie linii brzegowej, oddziaływanie powierzchni wodnych). Cyrkulacja atmosferyczna w tej strefie jest kształtowana w dużej mierze przez występowanie niżów barycznych w pobliżu Islandii (Niż Islandzki), które często przemieszczają się w kierunku NE w znacznym stopniu wpływając na pogodę Arktyki Norweskiej. Natomiast nad Grenlandią, wskutek intensywnego wychłodzenia znacznie wyniesionej nad poziomem morza czaszy lodowej występuje utrzymujący się przez cały rok wyż quasistacjonarny (Martyn 1985).

Wszystkie wymienione czynniki są bardzo wyraźnie widoczne w przebiegu rocznym usłonecznienia na stacjach strefy polarnej (ryc. 2). Spośród analizowanych stacji najmniejsze roczne usłonecznienie (595 godzin) występuje na stacji Bjornoya (tab. 1). Jest to spowodowane położeniem wyspy na szlaku niżów i związanych z nimi frontów atmosferycznych sprzyjających dużemu zachmurzeniu i częstym mgłom. Przebieg roczny usłonecznienia uwarunkowany jest tu głównie położeniem geograficznym, występowaniem nocy polarnej i cyrkulacją.

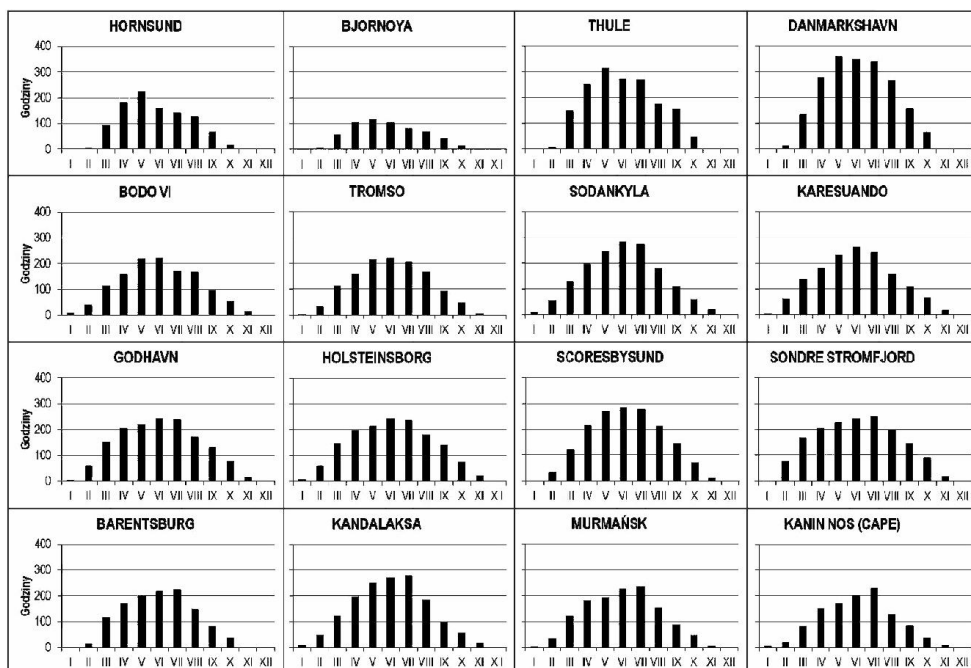
Tab. 1. Sumy roczne usłonecznienia (U; godziny) na wybranych stacjach strefy polarnej (stacje na Grenlandii i Hornsund lata 1981-1990, pozostałe stacje lata 1961-1990)

Table 1. Annual totals of sunshine duration (S; hours) at selected stations in the polar regions (stations located in Greenland and Hornsund, years 1981-1990; other stations, years 1961-1990).

Stacja Station	φ, λ	U (godziny)	Stacja Station	φ, λ	S (hours)
Barentsburg	78°04'N, 14°15'E	1102	Kanin Nos (cape)	68°39'N, 43°18'E	1119
Hornsund	77°00'N, 15°33'E	1032	Kandalaksa	67°09'N, 32°21'E	1535
Bjornoya	74°31'N, 19°01'E	595	Godhavn	69°15'N, 53°31'W	1515
Tromsø	69°39'N, 18°56'E	1265	Søndre Strømfjord	67°00'N, 50°48'W	1633
Bodo VI	67°17'N, 14°26'E	1272	Danmarkshavn	76°46'N, 18°40'W	1967
Karesuando	68°27'N, 22°30'E	1484	Thule	77°28'N, 69°14'W	1648
Sodankylä	67°22'N, 26°39'E	1563	Holsteinsborg	66°55'N, 53°40'W	1513
Murmansk	68°58'N, 33°03'E	1293	Scoresbysund	70°29'N, 22°00'W	1645

Na stacji Bjornoya wiosną obserwuje się szybki wzrost wartości usłonecznienia z maksimum w maju i stopniowy spadek w lecie i jesieni. Największe usłonecznienie z początkiem dnia polarnego, a jeszcze przed kulminacją Słońca, związane jest z mniejszym zachmurzeniem uwarunkowanym

przewagą sytuacji wyżowych. Jak podaje Niedźwiedź (2007) maj jest jedynym miesiącem w roku, w którym częstość występowania wyżów (59,7%) przewyższa frekwencję układów niskiego ciśnienia (38,0). Podobny przebieg roczny usłonecznienia wykazują stacje Hornsund oraz stacje grenlandzkie: Danmarkshavn i Thule położone na podobnej szerokości geograficznej (ryc. 2). Jednak na Grenlandii z powodu oddziaływania Wyżu Grenlandzkiego i małego zachmurzenia usłonecznienie roczne jest ponad trzy razy większe na stacji Danmarkshavn (1967 godzin) i o ponad 1000 godzin większe na stacji Thule (1648 godzin) niż na zachmurzonej stacji Bjornoya (tab. 1).



Ryc. 2. Przebieg roczny usłonecznienia (godziny) na wybranych stacjach strefy polarnej (stacje na Grenlandii i Hornsund lata 1981-1990, pozostałe stacje lata 1961-1990)

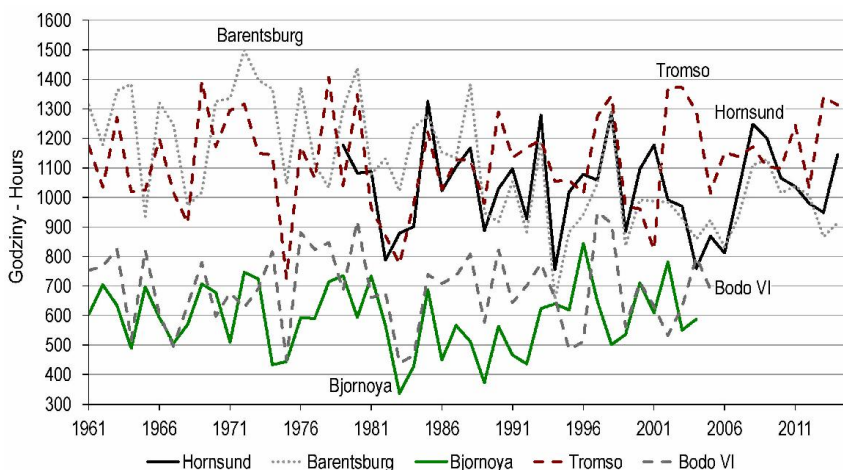
Fig. 2. Annual course of sunshine duration (hours) at selected stations in the polar regions (stations located in Greenland and Hornsund, years 1981-1990; other stations, years 1961-1990)

Stacje norweskie na zachodnim wybrzeżu Półwyspu Skandynawskiego znajdują się pod wpływem Nizu Islandzkiego i ciepłego Prądu Norweskiego, co przejawia się większym zachmurzeniem i niższymi sumami rocznymi usłonecznienia niż na stacjach położonych na Grenlandii (tab. 1). Przebieg roczny usłonecznienia na tych stacjach jest prawie symetryczny z maksimum usłonecznienia w czerwcu (Tromso, Bodo, Godhavn, Holsteinsborg Scoresbysund) lub w lipcu (Sondre Stromfjord). Położone na wschodzie stacje rosyjskie (Kandalaksa, Murmańsk i Kanin Nos) charakteryzują się stopniowym wzrostem usłonecznienia w miesiącach wiosennych z maksimum w lipcu i szybkim spadkiem w sierpniu i jesienią (ryc. 2). Co ciekawe podobny przebieg roczny usłonecznienia ma Barentsburg, poło-

żony najbardziej na północ spośród wszystkich analizowanych stacji. Być może przyczyną takiego rozkładu usłonecznienia w Barentsburgu jest zacinienie stacji przez okoliczne wzniesienia.

4. Porównania tendencji usłonecznienia w Europie ze stacjami z rejonów polarnych

Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia na wybranych stacjach strefy polarnej jest z roku na rok bardzo zróżnicowany (ryc. 3). Nie zaznaczają się wyraźne tendencje na poszczególnych stacjach, ale można zauważyć, że wzrosty bądź spadki wartości usłonecznienia przypadają na ten sam rok (np. 1975, 1983, 1994). Lepsza zgodność przebiegu sum rocznych usłonecznienia widoczna jest do połowy lat 90., później wartości ekstremalne nie pokrywają się, być może dlatego, że na niektórych stacjach wykorzystywany był tradycyjny heliograf, a na innych wprowadzono już czujniki automatyczne. Najbardziej zbliżony do siebie przebieg wieloletni usłonecznienia mają stacje Hornsund i Barentsburg oraz Bodo i Bjornoya. W roku 1975 na wszystkich stacjach (bez Hornsundu, bo nie prowadzono tam jeszcze pomiarów) wystąpiła bardzo niska wartość usłonecznienia (ryc. 3). Ponowne minimum zaznaczyło się w 1994 roku, ale już tylko w Barentsburgu i Hornsundzie oraz w Ny Alesund (Budzik 2005).



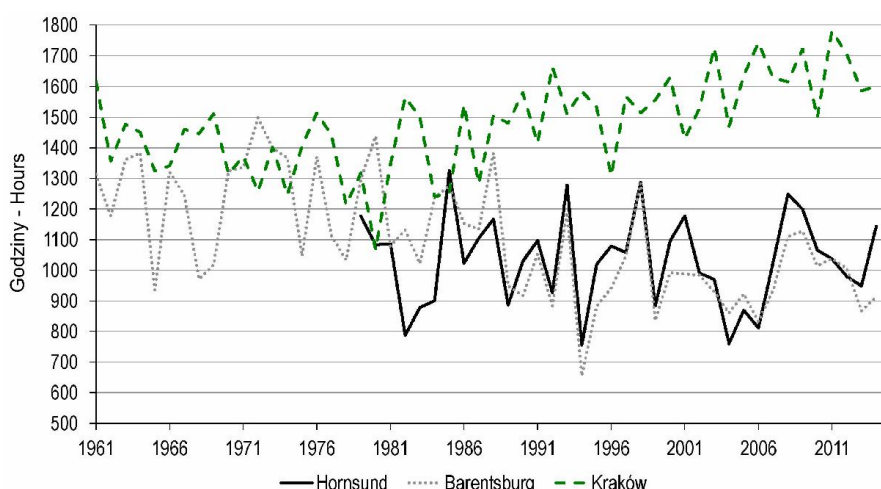
Ryc. 3. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) na wybranych stacjach strefy polarnej

Fig. 3. Long-term course of annual totals of sunshine duration (hours) at selected stations in the polar regions.

Badania Stanhilla (1995) dotyczące wieloletnich zmian w dopływie promieniowania słonecznego w strefie polarnej wskazują na spadek sum promieniowania całkowitego w latach 1950-1994. Autor nie dysponując danymi o zmienności zachmurzenia za przyczynę tego spadku uważał wzrost transportu zanieczyszczeń nad obszar Arktyki. Zdaniem Przybylaka (2007) wydaje się prawdopodobne, że oprócz wzrostu zanieczyszczeń powietrza także wzrost zachmurzenia przyczynił się do ujemnego trendu promieniowania słonecznego w strefie polarnej.

Dla porównania tendencji przebiegu wieloletniego usłonecznienia w Europie z wybranymi stacjami z obszaru Arktyki Europejskiej przedstawiono wykres dla Krakowa (ryc. 4). Pewną zgodność można zauważyć do lat 80. XX wieku. Potem usłonecznienie w Krakowie wzrasta, natomiast w Barentsburgu i Hornsundzie maleje. Zatem w rejonach polarnych nie zaznacza się tak jak na stacjach europejskich

okres wzrostu usłonecznienia (globalnego rozjaśnienia). Prawdopodobnie zjawisko „global dimming” i „global brightening”, obserwowane na terenach zurbanizowanych Europy nie zachodziło w Arktyce z powodu niewielkiego wpływu czynników antropogenicznych na tym obszarze. Porównanie sum rocznych usłonecznienia na podstawie danych ze stacji w strefie polarnej wskazuje głównie na przyczyny cyrkulacyjne. Potwierdzeniem tego przypuszczenia może być porównanie danych ze stacji Bjornoya, która ma najmniejsze usłonecznienie, związane z przewagą niżów i dużym zachmurzeniem (tab. 1), oraz z Danmarkshavn, gdzie występuje największe usłonecznienie, gdyż obszar ten znajduje się pod wpływem Wyżu Grenlandzkiego. Wartym zauważenia jest również fakt, że niektóre stacje strefy polarnej (tab. 1), zwłaszcza położone na Grenlandii mają sumę roczną usłonecznienia większą niż Kraków. Na podstawie danych z lat 1884-2014 suma roczna usłonecznienia w Krakowie wynosi ponad 1555 godzin, a w porównywanym okresie (1961-1990) – 1478 godzin.



Ryc. 4. Przebieg wieloletni sum rocznych usłonecznienia (godziny) w Krakowie, Hornsundzie i Barentsburgu

Fig. 4. Long-term course of annual totals of sunshine duration (hours) in Krakow, Hornsund and Barentsburg.

Tab. 2. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla wybranych stacji strefy polarnej (lata 1979-2004).
Czcionka pogrubiona oznacza wartości istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05

Table 2. Basic statistical characteristics for selected stations in the polar regions (years 1979-2004).
Statistically significant value at the significance level of 0.05 in bold.

Stacja Station	Równanie regresji Regression equation	Współczynnik korelacji liniowej Linear correlation coefficient	Współczynnik determinacji Coefficient of determination	Zmiana na 26 lat (w godzinach) 26-year period change (in hours)	Zmiana na 10 lat (w godzinach) 10-year period change (in hours)
Kraków	$y = 10.864x + 1319.8$	0.5536	0.3065	271.60	104.46
Hornsund	$y = -1.932x + 1058.0$	-0.0950	0.0090	-48.31	-18.58
Barentsburg	$y = -14.035x + 1248.9$	-0.5760	0.3318	-350.88	-134.95
Tromsø	$y = 7.013x + 1012.4$	0.3113	0.0969	175.32	67.43
Bodo VI	$y = -0.103x + 683.89$	-0.0057	0.0000	-2.57	-0.99
Bjornoya	$y = 3.281x + 536.32$	0.2009	0.0404	82.02	31.54

Na podstawie obliczenia podstawowych charakterystyk statystycznych (tab. 2) stwierdzono, że zmiany w przebiegu wieloletnim usłonecznienia są istotne statystycznie tylko dla serii z Barentsburga i Krakowa, ale tendencje zmian są różne (ryc. 4, tab. 2). Usłonecznienie w Krakowie wzrosło o ponad 270 godzin w ciągu 26 lat, natomiast w Barentsburgu w tym samym okresie spadło o ponad 350 godzin. Korelacje między danymi z analizowanych stacji w strefie polarnej są słabe. Najsilniejsze związki, istotne statystycznie występują między Barentsburgiem a Hornsundem i Bodo oraz Krakowem, a także między Tromsø a Bodo. Seria heliograficzna ze stacji Bjornoya nie wykazuje korelacji istotnej statystycznie z żadną z analizowanych stacji.

5. Podsumowanie

Analiza zmienności usłonecznienia w rejonach polarnych potwierdziła duże zróżnicowanie regionalne tego elementu na analizowanych stacjach Arktyki Europejskiej i Grenlandii. W strefie polarnej duży wpływ na wartości usłonecznienia oprócz czynników astronomicznych (dzień i noc polarna) mają warunki lokalne (orografia – zasłonięcie horyzontu, niskie położenie tarczy słonecznej i przyczyny metodyczne pomiaru – np. zmiana przyrządu tradycyjnego na automatyczny).

Przeprowadzona analiza wykazała, że przebieg roczny usłonecznienia zależy głównie od położenia stacji (szerokości geograficznej i zachmurzenia uwarunkowanego czynnikami cyrkulacyjnymi i orograficznymi). Podobny przebieg roczny z maksimum w maju mają stacje położone na zbliżonej szerokości geograficznej (Polska Stacja Polarna w Hornsundzie, Bjornoya, Thule i Danmarkshavn, ale najmniejsze usłonecznienie występuje na stacji Bjornoya (595 godzin) z powodu dużego zachmurzenia związanego z przewagą niżów, a największe w pogodnym Danmarkshavn (1967 godzin) znajdującym się w zasięgu Wyżu Grenlandzkiego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy, a także cytowanej literatury, można stwierdzić, że przebieg wieloletni usłonecznienia w strefie polarnej w niewielkim stopniu nawiązuje do tendencji obserwowanych na stacjach europejskich, co może przemawiać za antropogenicznymi przyczynami „global dimming” i „global brightening”. Seria usłonecznienia w Barentsburgu wykazuje istotny statystycznie trend malejący, natomiast w Krakowie, zgodnie z tendencjami w pozostałej części Europy obserwuje się od lat 80-tych XX wieku wzrost usłonecznienia.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania Panu Profesorowi Piotrowi Głowackiemu i Obserwatorom z Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie za możliwość wykorzystania danych.

Literatura

- Atlas Arktiki, 1985. Glavnoye Upravienye Geodezii i Kartografii, Moskwa: 204 s.
- Baranowski S., 1977. Subpolarne lodowce Spitsbergenu na tle klimatu tego regionu. *Studia Geograficzne XXXI* (Acta Universitatis Wratislaviensis Nr 393), Wrocław: 94 s.
- Bednar J., 1990. Recent changes of the sunshine in Prague Region. [in:] *Climatic Change in the Historical and the Instrumental Periods*, Brázdil R. (ed), Masaryk University, Brno, Czech Republic: 240-242.
- Brázdil R. (red.), 1988. Results of investigations of the geographical research expedition. Spitsbergen 1985. *Univerzita J.E. Purkyne v Brne, Brno: 337 s.*

- Brázdil R., Flocas A.A., Sahsamanoglou H.S., 1994. Fluctuation of sunshine duration in central and South-Eastern Europe. *International Journal of Climatology*, 14 (9): 1017-1034.
- Budzik T., 2005. Uśłonecznienie w Ny-Ålesund (NW Spitsbergen) w okresie 1993-2004. *Problemy Klimatologii Polarnej*, 15: 103-111.
- Dobesch H., 1992. On the variations of Sunshine Duration in Austria. *Theoretical and Applied Climatology*, 46 (1): 33-38.
- Gavrilova M.K., 1963. Radiation Climate of the Arctic. Gidrometeoizdat, Leningrad: 178 s.
- Głowacki P., Niedźwiedź T., 1997. Climatological conditions in Hornsund (Spitsbergen) during succeeding Polish Polar Expeditions. XXIV Polar Symposium, Polish Polar Studies, Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa: 81-94.
- Głowicki B., 1985. Radiation conditions in the Hornsund Area (Spitsbergen). *Polish Polar Research*, 6 (3): 301-318.
- Horecka V., 1990. Trend of sunshine in Slovakia. [in:] *Climatic Change in the Historical and the Instrumental Periods*, Brázdil R. (ed.), Masaryk University, Brno, Czech Republic: 246-248.
- Kitsara G., Papaioannou G., Papathanasiou A., Retalis A., 2012. Dimming/brightening in Athens: trends in sunshine duration. Cloud cover and reference evapotranspiration, *Water Resource Manage*, 27(6): 1623-1633.
- Lewik P., Matuszko D., Morawska-Horawska M., 2010. Multi-annual variability of cloudiness and sunshine duration in Krakow between 1826 and 2005. [in:] *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview, Advances in Global Change Research. XVIII*, Przybylak R., Majorowicz J., Brázdil R., Kejna M. (eds), Springer Netherlands: Dordrecht, The Netherlands, Heidelberg, Germany, London and New York, NY: 341-353.
- Liepert B., 2002. Observed reductions of surface solar radiation at sites in the United States and worldwide from 1961 to 1990. *Geophysical Research Letters*, 29 (10): 1421, doi: 10.1029/2002GL014910.
- Marsz A., Styszyńska A. (eds.), 2013. Climate and climate change at Hornsund, Svalbard, The publishing house of Gdynia Maritime University, Gdynia: 402 s.
- Marsz A., Styszyńska A. (red.), 2007. Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia: 376 s.
- Martyn D., 1985. Klimaty kuli ziemskiej, PWN, Warszawa: 667 s.
- Matuszko D., 2003. Cloudiness changes in Cracow in the 20th Century. *International Journal of Climatology* 23(8): 975-984.
- Matuszko D., 2014. Long-term variability in solar radiation in Krakow based on measurements of sunshine duration. *International Journal of Climatology*, 34 (1): 228-234.
- Matuszko D., Węglarczyk S., 2014. Effect of cloudiness on long-term variability in air temperature in Krakow. *International Journal of Climatology*, 34 (1): 145-154.
- Niedźwiedź T., 1993. The main factors forming the climate of the Hornsund (Spitsbergen). *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, MXCVIII*, 94: 49-63.
- Niedźwiedź T., 2007. Cyrkulacja atmosferyczna. [w:] A. Marsz i A. Styszyńska (red.), *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie*, Gdynia: 45-63.
- Norris J.R., Wild M., 2007. Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover solar "dimming" and solar "brightening". *Journal of Geophysical Research*, 112 (D08214): 1-13, doi: 10.1029/2006JD007794.
- Pereyma J., 1983. Climatological problems of the Hornsund Area, Spitsbergen. Results of investigations of the Polish Scientific Spitsbergen Expeditions, Vol. V (Acta Universitatis Wratislaviensis 714), Wrocław: 134 s.
- Pettersen S., Jacobs W.C., Hayness B., C., 1956. Meteorology of the Arctic, Naval Operation of Polar Projects, (Op-03A3), Washington D.C.: 280 s.
- Przybylak R., 2003. The Climate of Arctic, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 270 s.

- Przybylak R., 2007. Współczesne zmiany klimatu w Arktyce. [w:] A. Styszyńska, A. Marsz (red.), *Zmiany klimatyczne w Arktyce i Antarktyce w ostatnim pięćdziesięcioleciu XX wieku i ich implikacje środowiskowe*, Akademia Morska, Gdynia: 93-110.
- Przybylak R., Szczepilewska E., 2002. Warunki meteorologiczne na Kaffiøyrze (NW Spitsbergen) w czasie trwania Toruńskich Wypraw Polarnych, 1975-2000. *Polish Polar Studies, Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów obszarów polarnych*, Poznań: 217-237.
- Sanchez-Lorenzo A., Brunetti B., Calbo J., Martin-Vide J., 2007. Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized data set. *Journal of Geophysical Research*, 112: D20, doi: 10.1029/2007JD008677.
- Sanchez-Lorenzo A., Calbó J., Martin-Vide J., 2008. Spatial and Temporal Trends in Sunshine Duration over Western Europe (1938-2004). *Journal of Climate*, 21(22): 6089-6098.
- Spinnangr G., 1968. Global radiation and duration of sunshine in Northern Norway and Spitsbergen. *Meteorologiske Annaler*, 5 (3): 301-318.
- Stanhill G., 1995. Solar irradiance, air pollution and temperature changes in the Arctic. [in:] Wadhams P., Doneswell J A, Schofield A M. (eds.), *Arctic and Environmental Change*, The Royal Society, London. 47-58.
- Styszyńska A., 1997. Valuation of the monthly sum of the total sun radiation in Hornsund (SW Spitsbergen). *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen UMCS, Lublin*: 163-172.
- Sun B., Groisman P.Y., 2000. Cloudiness variations over the former Soviet Union. *International Journal of Climatology*, 20 (10): 1097-1111.
- Vinje T., 1974-1979. Radiation conditions in Spitsbergen in 1974-79, *Norsk Polarinstitutt Årbok* 1974.
- Weber G.R., 1990. Spatial and temporal variations of sunshine in the Federal Republic of Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, 41: 1-9.
- Wibig J., 2008. Cloudiness variations in Łódź in the second half of the 20th century. *International Journal of Climatology*, 28(4): 479-491.

Wpłynęło: 20 lipca 2015 r., poprawiono: 28 sierpnia 2015 r., zaakceptowano: 2 września 2015 r.

Summary

The aim of this study is to characterize sunshine duration in the polar regions based on the data from selected stations located north of the European Arctic and Greenland. Mean monthly totals of sunshine duration from standard 30-year period (1961-1990) from 15 stations located north of the Arctic Circle were used for general characteristics, and a detailed analysis was performed based on the data from Polish Polar Station in Hornsund (1961-2014) and from the stations: Bjornoya (1961-2004), Tromsø (1961-2014), Bodo VI (1961-2005) and Barentsburg (1961-2014). In the polar regions, local conditions in addition to astronomical and circulation factors have influence on values of sunshine duration. Analysis of the variability of sunshine duration in the polar regions confirmed large regional differences of this element at the analyzed stations of European Arctic and Greenland. In the polar regions, apart from the astronomical factors (polar day and night), local conditions have a big impact on sunshine duration values (orography – horizon covering, the low position of the solar disc and methodical aspect of measurements – e.g. changing the traditional instrument for the automatic one).

The conducted analysis showed that the course of annual sunshine duration depends mainly on the station location (latitude and cloudiness influenced by orographic and circulation factors). Similar

annual course with a maximum in May occurs in stations located on similar latitudes (Polish Polar Station in Hornsund, Bjornoya, Thule and Danmarkshavn). However, the least sunshine is present at Bjornoya station (595 hours) due to heavy cloudiness associated with predominance of lows, and the largest in Danmarkshavn (1967), located within Greenland High.

Based on the conducted analysis and cited literature it can be concluded that the long-term course of sunshine duration in the polar regions to a small extent refers to the trend observed in European stations. This fact can suggest anthropogenic causes of global dimming and brightening. Sunshine duration series from Barentsburg shows a statistically significant negative trend, while in Krakow, an increase of sunshine is observed, which is in line with trends in the rest of Europe.

Key words: sunshine duration, European Arctic, Greenland, polar regions, Hornsund.